

明 細 書

静電吸引型流体吐出装置

技術分野

- [0001] 本発明は、インク等の導電性流体を帯電させて静電吸引することで、対象物上に流体を吐出する静電吸引型流体吐出装置に関するものである。

背景技術

- [0002] 一般に、インク等の流体を対象物(記録媒体)上に吐出する流体ジェット方式にはインクジェットプリンタとして実用化されているピエゾやサーマルなどの方式があるが、その他の方式として、吐出する流体を導電性流体とし、導電性流体に電界を印加してノズルから吐出させる静電吸引方式がある。
- [0003] このような静電吸引方式の流体吐出装置(以下、静電吸引型流体吐出装置と称する)としては、例えば、日本国特許公報である特公昭36-13768号公報(公告日1961年8月18日)および日本国公開特許公報である特開2001-88306号公報(公開日2001年4月3日)において開示がある。
- [0004] また、日本国公開特許公報である特開2000-127410号公報(公開日2000年5月9日)には、ノズルをスリットとして、ノズルより突出した針電極を設け微粒子を含むインクを吐出するインクジェット装置が開示されている。例えば、日本国公開特許公報である特開平8-238774号公報(公開日1996年9月17日)には、ノズルより内部に電圧印加用の電極を設けたインクジェット装置が開示されている。
- [0005] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルを説明する。
- [0006] 静電吸引型流体吐出装置、とりわけオンデマンド型の静電吸引型流体吐出装置の設計要因としては、インク液体の導電性(例えば比抵抗 $10^6 \sim 10^{11} \Omega \text{cm}$)、表面張力(例えば $0.020 \sim 0.040 \text{N/m}$)、粘度(例えば $0.011 \sim 0.015 \text{Pa}\cdot\text{s}$)、印加電圧(電場)がある。そして、印加電圧としては、ノズルに印加する電圧、およびノズルと対向電極間との距離が特に重要とされていた。
- [0007] 静電吸引型流体吐出装置においては、電気流体的な不安定性を利用しており、図15にこの様子を示す。一様電界の中に導電性流体を静置すると、導電性流体の表

面に作用する静電力が表面を不安定にし、曳き糸の成長を促す(静電曳き糸現象)。この時の電場は、ノズルと、ノズルとhだけ距離を隔てて対向する対向電極との間に電圧Vを印加したときに発生する電場 E_0 とする。この時の成長波長 λ_c は物理的に導くことが可能であり(例えば、「画像電子情報学会, 第17巻, 第4号, 1988年, p.185-193」)、次式で表される。

$$\lambda_c = \frac{2\pi\gamma}{\epsilon_0} E_0^{-2} \quad \dots(1)$$

[0008] ここで、 γ :表面張力(N/m)、 ϵ_0 :真空の誘電率(F/m)、 E_0 :電界の強さ(V/m)である。ノズル径d(m)が、 λ_c よりも小さい場合、成長は起こらない。すなわち、

$$d > \frac{\lambda_c}{2} = \frac{\pi\gamma}{\epsilon_0 E_0^2} \quad \dots(2)$$

が、吐出のための条件となっていた。

[0009] ここで、 E_0 は平行平板を仮定した場合の電界強度(V/m)で、ノズル-対向電極間距離をh(m)、ノズルに印加する電圧を V_0 として、

$$E_0 = \frac{V_0}{h} \quad \dots(3)$$

したがって、

$$d > \frac{\pi\gamma h^2}{\epsilon_0 V_0^2} \quad \dots(4)$$

となる。

[0010] 流体吐出装置では、一般的により微細なドット形成やライン形成を可能とするために、インクを吐出するノズルの径を小さくしたいといった要望がある。

[0011] しかしながら、現在実用化されているピエゾ方式やサーマル方式などの流体吐出装置では、ノズル径を小さくして、例えば1plを下回るような微小量の流体の吐出は困難である。これは、流体を吐出するノズルが微細になるほど吐出に必要な圧力が大きくなるためである。

- [0012] また、上述のような流体吐出装置では、液滴の微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現するのは困難であった。これは以下の理由による。
- [0013] ノズルから吐出された液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比例する。このため、ノズルを微細化した場合に吐出される微細液滴は、吐出時の空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気滞留などによる攪乱を受け、正確な着弾を期待できない。さらに、液滴が微細になるほど、表面張力の効果が増すため、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため、微細液滴は飛翔中に著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという問題があった。
- [0014] またさらに、上述した従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルに基づくと、上記(2)式より、ノズル径の減少は吐出に必要な電界強度の増加を要請することとなる。そして、電界強度は、上記(3)式に示すように、ノズルに印加する電圧(駆動電圧) V_0 とノズル対向電極間距離 h とによって決まるため、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇を招来する。
- [0015] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧は、1000V以上と非常に高いため、各ノズル間でのリークや干渉化を考慮すると小型化および高密度化は難しく、ノズル径をさらに小さくすると上記問題がより大きなものとなる。また、1000Vを越えるような高電圧のパワー半導体は一般的に高価で周波数応答性も低い。
- [0016] 尚、特公昭36-13768号公報で開示されているノズル径は0.127mmであり、特開2001-88306号公報で開示されているノズル径の範囲は50-2000 μm 、より好ましくは100-1000 μm といった範囲であった。
- [0017] ノズル径に関して、従来の静電吸引型流体吐出における典型的な動作条件を当てはめて計算してみると、表面張力0.020N/m、電界強度 10^7V/m として、上記(1)式に代入して計算すると、成長波長 λ_0 は約140 μm となる。すなわち、限界ノズル径として70 μm という値が得られる。すなわち、上記条件下では 10^7V/m の強電界を用いてもノズル径が直径70 μm 程度以下の場合は背圧を印加して強制的にメニスカス形成させるなどの処置をとらない限り、インクの成長は起こらず、静電吸引型流体吐出は成立しないと考えられていた。すなわち、微細ノズルと駆動電圧の低電圧化

は両立しない課題と考えられていた。

- [0018] 以上のように、従来の流体吐出装置では、ノズルの微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。また、特に静電吸引型流体吐出装置では、ノズルの微細化と駆動電圧の低電圧化とは両立しない課題と考えられていた。

発明の開示

- [0019] 本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、その目的は、ノズルの微細化と微小流体の吐出及び着弾位置の高精度化、さらに、駆動電圧の低電圧化をすべて実現した静電吸引型流体吐出装置を提供することにある。
- [0020] 上記の目的を達成するために、本発明に係る静電吸引型流体吐出装置は、電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル外壁部分を導電性材料でコーティングすることによって形成されていることを特徴としている。
- [0021] 上記の構成によれば、ノズルの流体噴出孔径(ノズル径)を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。
- [0022] さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。
- [0023] また、上述のような微細ノズル化は、流体流路内部に駆動電極を配置する場合、該駆動電極をノズル孔に近づけることが構造上困難となる。この場合、流体吐出ヘッド内部における駆動電極からノズル先端までの吐出流体流路内の電気抵抗値が増大

し、その結果、吐出応答性が低下するといった問題がある。

- [0024] これに対し、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル外壁部分を導電性材料でコーティングすることによって形成されているため、電極部とノズル孔との距離をできるだけ短くするようなヘッド構成を実現することが容易となる。つまり、電極部の位置をノズル孔に近づけることにより、吐出可能な駆動周波数を向上できると共に、吐出可能な材料の選択の幅を高抵抗側へ広げることができる。
- [0025] また、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記電極部は、ノズル内壁の少なくとも一部を形成している構成とすることが好ましい。
- [0026] 上記の構成によれば、上記電極部がノズル内壁の少なくとも一部を形成していることで、吐出が行われていない状態であっても、該電極部がノズル内の吐出流体と接触している状態となる。このため、上記電極部に駆動電圧を印加した際、吐出流体への電荷供給が速やかに行われ、吐出応答性が向上する。
- [0027] また、本発明の他の静電吸引型流体吐出装置は、上記の課題を解決するために、電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、ノズル先端部が導電性材料で形成されており、導電性材料で形成された上記ノズル先端部が吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部を兼用していることを特徴としている。
- [0028] 上記の構成によれば、ノズル先端部自体が導電性材料で形成されており、該先端部を電極部としてノズル内の吐出流体に電荷供給できるため、初期吐出に寄与するノズル孔近傍の吐出流体に対して電荷供給できるだけでなく、ノズル孔から少し離れた箇所に存在する流体流路内部の吐出流体に対しても同時に電荷供給することができる。このため、吐出応答性が向上し、且つ連続吐出時の電荷の追従性、つまり、連続吐出安定性が向上する。
- [0029] また、上記静電吸引型流体吐出装置は、ノズル内部に圧力を付与する圧力付与手

段を備えている構成とすることができる。

[0030] 上記の構成によれば、上記圧力付与手段によりノズル内の吐出流体は導出圧力を付与されてノズル孔から外部に導出された状態に保つことができるため、流体吐出の動作時において、電極部に駆動電圧を印加すると同時に、該電極部より電荷供給を受けることができ、安定した吐出を実現することができる。

[0031] また、本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、上記の課題を解決するために、電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル内部に配置されており、ノズル先端部の内壁面がテーパ部を有しており、そのテーパ角を θ 、テーパ長を L 、ノズル径を d とし、かつ、 $L/d > 5$ となる場合、テーパ角 θ が 21° 以上に設定されていることを特徴としている。

[0032] 上記の構成によれば、ノズル先端部の内壁面にテーパ部を形成し、そのテーパ角を 21° 以上に設定することで、電極部がノズル内部に配置される場合に、電極部とノズル孔との間の電気抵抗を大幅に抑制することができ、吐出限界周波数の向上、及び吐出材料の高抵抗側への選択性向上を可能とする。

[0033] また、本発明のさらに他の静電吸引型流体吐出装置は、上記の課題を解決するために、電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル内部に配置されており、ノズル先端部の内壁面がテーパ部を有しており、そのテーパ角を θ 、テーパ長を L 、ノズル径を d とし、かつ、 $L/d < 100$ となる場合、テーパ角 θ が、

$$\theta > 58 \times d/L$$

となるように設定されていることを特徴としている。

- [0034] 上記の構成によれば、ノズル先端部の内壁面にテーパ部を形成し、そのテーパ角を $\theta > 58 \times d/L$ となるように設定することで、電極部がノズル内部に配置される場合に、電極部とノズル孔との間の電気抵抗を大幅に抑制することができ、吐出限界周波数の向上、及び吐出材料の高抵抗側への選択性向上を可能とする。
- [0035] また、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記電極部はノズル内部に挿入配置された棒状電極であり、その先端がテーパ部の内壁面と接する位置まで挿入されている構成とすることができる。
- [0036] 上記の構成によれば、電極部が可能な限りノズル孔側に接近させられることにより、電極部とノズル孔との間の吐出流体流路の電気抵抗を小さくすることができ、吐出限界周波数の向上、及び吐出流体の高抵抗側への選択性向上を可能にする。
- [0037] 本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分に理解されるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

図面の簡単な説明

- [0038] [図1]本発明の一実施形態を示すものであり、実施の形態1に係る静電吸引型流体吐出装置の流体吐出ヘッドのノズル構成を示す断面図である。
- [図2]本発明の基本となる吐出モデルにおいて、ノズルの電界強度の計算を説明するための図である。
- [図3]表面張力圧力および静電的圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図4]吐出圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図5]吐出限界電圧のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。
- [図6]吐出開始電圧のノズル径依存性を実験的に求めた結果を示すグラフである。
- [図7]静電吸引型流体吐出装置において、電極ーノズル孔間距離と吐出流体として使用可能な材料の導電率との関係を示すグラフである。
- [図8]実施の形態1に係る静電吸引型流体吐出装置の流体吐出ヘッドにおけるノズル構成の変形例を示す断面図である。
- [図9]本発明の他の実施形態を示すものであり、実施の形態2に係る静電吸引型流

体吐出装置の流体吐出ヘッドのノズル構成を示す断面図である。

[図10]本発明の他の実施形態を示すものであり、実施の形態3に係る静電吸引型流体吐出装置の流体吐出ヘッドの構成を示す断面図である。

[図11]本発明の他の実施形態を示すものであり、実施の形態4に係る静電吸引型流体吐出装置の流体吐出ヘッドのノズル構成を示す断面図である。

[図12]実施の形態4に係る静電吸引型流体吐出装置において、テーパ角と抵抗比率との関係を示すグラフである。

[図13]実施の形態4に係る静電吸引型流体吐出装置において、テーパ長—ノズル径比 L/d とテーパ角 θ との関係を示すグラフである。

[図14]本発明の他の実施形態を示すものであり、実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置の流体吐出ヘッドのノズル構成を示す断面図である。

[図15]静電吸引型流体吐出装置における静電曳き糸現象による吐出流体の成長原理を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0039] 本発明の実施の一形態について図面に基づいて説明すれば、以下の通りである。

[0040] 本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置は、そのノズル径を $0.01\mu\text{m}$ — $25\mu\text{m}$ としており、なおかつ、 1000V 以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を可能としている。

[0041] ここで、従来の流体吐出モデルにおいては、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇に繋がるため、 50 — $70\mu\text{m}$ 以下のノズル径では、吐出流体に背圧を与えるなどの他の工夫を行わない限り、 1000V 以下の駆動電圧での流体吐出は不可能と考えられていた。しかしながら、本願発明者らは鋭意検討の結果、あるノズル径以下では、従来の流体吐出モデルとは異なる吐出モデルでの吐出現象が起こることを突き止めた。本発明は、この流体吐出モデルにおける新たな知見に基づいてなされたものである。

[0042] 先ずは、上記知見に基づく本願の前提技術となる流体吐出モデルについて説明する。

[0043] 直径 d (以下の説明においては、特に断らない限りノズルの内径を指す)のノズルに

導電性流体を注入し、無限平板導体から h の高さに垂直に位置させたと仮定する。この様子を図2に示す。このとき、ノズル先端に誘起される電荷 Q は、ノズル先端の吐出流体によって形成される半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

$$Q = 2\pi\epsilon_0\alpha V_0 d \quad \dots (5)$$

[0044] ここで、 Q :ノズルの先端部に誘起される電荷(C)、 ϵ_0 :真空の誘電率(F/m)、 d :ノズルの直径(m)、 V_0 :ノズルに印加する総電圧である。また、 α は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、1〜1.5程度の値を取るが、特に $D \ll h$ (h :ノズル-基板間距離(m))の時はほぼ1となる。

[0045] また、基板として導電基板を用いた場合、ノズルと対向して基板内の対称位置に、上記電荷 Q と反対の極性を持つ鏡像電荷 Q' が誘導されると考えられる。基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に電荷 Q と逆極性の映像電荷 Q' が誘導される。

[0046] ノズル先端部における集中電界強度 E_{loc} は、先端部の曲率半径を R と仮定すると、

$$E_{loc} = \frac{V_0}{kR} \quad \dots (6)$$

で与えられる。ここで、 k は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、1.5〜8.5程度の値を取るが、多くの場合5程度と考えられる(P.J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23(1970), p.198-210)。また、ここでは、流体吐出モデルを簡単にするため、 $R = d/2$ と仮定する。これは、ノズル先端部において表面張力によって導電性インクがノズル径 d と同じ曲率径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

[0047] ノズル先端の吐出流体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力 P_e は、ノズル先端部の液面積を S とすると、

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc} = \frac{2Q}{\pi d^2} E_{loc} \quad \dots (7)$$

となる。(5)〜(7)式より、 $\alpha = 1$ とにおいて、

$$P_e = \frac{4\epsilon_0 V_0}{d} \cdot \frac{2V_0}{kd} = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} \quad \dots (8)$$

と表される。

[0048] 一方、ノズル先端部における吐出流体の表面張力を P_s とすると、

$$P_s = \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (9)$$

となる。ここで、 γ :表面張力である。静電的な力により吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回ることなので、

$$P_e > P_s \quad \dots (10)$$

となる。

[0049] 図3に、ある直径 d のノズルを与えた時の、表面張力による圧力と静電的な圧力との関係を示す。吐出流体の表面張力としては、吐出流体が水($\gamma = 72\text{mN/m}$)の場合を仮定している。ノズルに印加する電圧を700Vとした場合、ノズル直径 d が $25\mu\text{m}$ において静電的な圧力が表面張力を上回ることが示唆される。このことより、 V_0 と d との関係を求めると、

$$V_0 > \sqrt{\frac{\gamma kd}{2\epsilon_0}} \quad \dots (11)$$

が吐出の最低電圧を与える。

[0050] また、その時の吐出圧力 ΔP は、

$$\Delta P = P_e - P_s \quad \dots (12)$$

より、

$$\Delta P = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} - \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (13)$$

となる。

- [0051] ある直径 d のノズルに対し、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合の吐出圧力 ΔP の依存性を図4に、また、吐出臨界電圧(すなわち吐出の生じる最低電圧) V_c の依存性を図5に示す。
- [0052] 図4から、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合($V_0 = 700V$, $\gamma = 72mN/m$ と仮定した場合)のノズル直径の上限が $25 \mu m$ であることが分かる。
- [0053] 図5の計算では、吐出流体として水($\gamma = 72mN/m$)及び有機溶剤($\gamma = 20mN/m$)を想定し、 $k=5$ の条件を仮定した。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出臨界電圧 V_c はノズル径の減少に伴い低下することが明らかであり、吐出流体が水の場合においてノズル直径が $25 \mu m$ の場合、吐出臨界電圧 V_c は $700V$ 程度であることが分かる。
- [0054] 従来の吐出モデルにおける電界の考え方、すなわちノズルに印加する電圧 V_0 とノズル-対向電極間距離 h とによって定義される電界のみを考慮した場合では、ノズル径が微小になるに従い、吐出に必要な駆動電圧は増加する。
- [0055] これに対し、本前提技術において提案する新たな吐出モデルのように、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。
- [0056] さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、従来の吐出モデルでは、ノズル-基板間に電界を印加するため、絶縁体の基板に対してはノズルと反対側に対向電極を配置するか、あるいは基板を導電性とする必要があった。そして、対向電極を配置する場合、すなわち基板が絶縁体の場合では、使用できる基板の厚さに限界があった。
- [0057] これに対し、本発明の吐出モデルでは、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。
- [0058] 以上のように、本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置では、局所電界強度

に着目して新たに提案された吐出モデルに基づいているため、ノズル径 $0.01\mu\text{m}$ 〜 $25\mu\text{m}$ の微細ノズルとすることが可能であり、かつ、 1000V 以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を行うことができる。尚、上記モデルに基づいて考察を行った結果、直径 $25\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は 700V 以下の駆動電圧で、直径 $10\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は 500V 以下の駆動電圧で、直径 $1\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は 300V 以下の駆動電圧で吐出制御が可能である。

- [0059] 図6に、吐出臨界電圧 V_c のノズル径依存性を実験的に求めた結果を示す。ここでは、吐出流体として、ハリマ化成(株)製の銀ナノペーストを用い、ノズル−基板間距離 $100\mu\text{m}$ の条件で測定を行った。図6より、微細ノズルになるにしたがって、吐出臨界電圧 V_c が低下し、従来より低電圧で吐出が可能となっていることが分かる。
- [0060] 本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置では、上述したように、ノズル径および駆動電圧を共に小さくすることが可能であるが、この場合、従来の静電吸引型流体吐出装置に比べ、以下のような問題が顕著に発生する。
- [0061] 上述のような静電吸引型流体吐出装置の場合、その吐出特性は、基本的に、流体吐出ヘッド内部における駆動電極からノズル先端までの吐出流体流路内の電気抵抗値に依存して決定するものであり、その電気抵抗値が低い程、吐出応答性が向上する。つまり、吐出流体流路内の電気抵抗値を下げることで、駆動周波数を向上することができ、さらには、より高抵抗な吐出流体材料の吐出が可能となり、吐出流体材料の選択の幅を広げることができる。
- [0062] 上記電気抵抗値を低くするためには、駆動電極−ノズル先端部間の距離の短縮、或いは、流体吐出ヘッド内部の流体流路における断面積の拡大が効果的である。
- [0063] しかしながら、本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置のように、ノズル径を $0.01\mu\text{m}$ 〜 $25\mu\text{m}$ と微細化した流体吐出ヘッドでは、そのノズル径が小さくなるに伴い、流体流路内部の駆動電極をノズル孔に近づけること、具体的には、ノズル近傍にまでインク流路内壁面に電極をコートしたり、電極線を挿入することが構造上困難となる。
- [0064] そこで、本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置では、ノズル外壁部分を導電性材料でコーティングし、ノズル先端部において駆動電圧を印加する、すなわちノ

ノズル先端部において吐出流体に電荷を与えることで、微細ノズルを有する流体吐出ヘッドの吐出特性を向上させるものである。このような静電吸引型流体吐出装置について、以下の実施の形態1〜5に説明する。

[0065] 〔実施の形態1〕

実施の形態1に係る静電吸引型流体吐出装置における流体吐出ヘッドのノズル構成を図1に示す。

[0066] 図1に示す流体吐出ヘッドのノズルは、先の尖ったノズル部10、その外壁部に設置された電極部20、ノズル部10内に設けられた流体流路30、さらにその流体流路30の端部、すなわちノズル先端に設けられたノズル孔40により構成されている。また、電極部20には駆動電圧を印加するための電源50が接続されている。

[0067] ノズル部10は絶縁材料であれば良く、特に成形性の高いガラス等が好ましく、ガラス管に熱および引張り力を加えて変形させることにより容易に内径1 μ m程度のノズル孔を作製することが可能である。

[0068] 電極部20に関しては導電材料であれば良く、特にノズル部10に対して密着性の高い、低抵抗材料が好ましい。電極部20は、一般的な真空蒸着法、スパッタリング、めっき等で容易に作製することができる。また、図1における電極部20は、ノズル孔40の内壁の少なくとも一部を形成しているものであり、吐出が行われていない状態であっても、ノズル内の吐出流体と接触している状態となっている。

[0069] 但し、電極部20の形成時には、該電極部20を形成する材料によってノズル孔40が塞がれる可能性があるため、電極部20作製時のノズルの設置方向等に工夫が必要となる。また、ノズル孔40が必然的に塞がる条件下では、電極部20の形成後にレーザー等による穴あけ加工にノズル孔40を形成することが必要となる。

[0070] 次に、上記ノズル構成を有する流体吐出ヘッドの流体吐出メカニズムを説明する。電源50より所望の駆動電圧を電極部20に印加すると、ノズル先端部において電極部20と接触している吐出流体に電荷供給が行われる。そして、ノズル先端部の吐出流体における電荷蓄積によって電界強度が増し、この電界強度が吐出に必要な電界強度に達した瞬間に吐出が開始される。

[0071] 吐出流体が電極部20から電荷を供給され始めてから吐出が開始されるまでの吐出

応答時間は、電極部20とノズル孔40との距離に大きく依存し、図1に示すように、ノズル孔40と電極部20とが一致するような構成の場合、最も早い吐出応答時間を得ることができる。

- [0072] 実際に、流体流路30内部に電極を挿入した場合と、外壁に電極コートによって電極を形成した場合との吐出限界周波数の比較を以下の表1示す。このようにノズル孔が $\phi 1.2 \mu\text{m}$ と小さい場合、内部に電極を挿入しても挿入電極径とノズル孔径の差が大きいためノズル孔と電極間の距離が $680 \mu\text{m}$ と大きくなる。一方、ノズル外壁を導電コートして電極を形成すると、ノズル孔近傍まで電極部を近づけることができる。このため、ノズル外壁に電極を形成することで吐出応答性が大きくなり、吐出限界周波数は電極を内部挿入する場合に比べて30倍も高くすることができる。

〔表 1〕

	流路内部に電極挿入	外壁を導電コート
吐出限界周波数	83 Hz	2.5 kHz

ノズル孔 $\phi 1.2 \mu\text{m}$

挿入電極径 $\phi 50 \mu\text{m}$

- [0073] また、電極－ノズル孔間距離と吐出流体として使用可能な材料の導電率との関係を図7に示す。このように、電極－ノズル孔間距離と吐出材料の導電率とは基本的にリニアな関係にあるため、高抵抗材料を吐出させるためには、電極位置をノズル孔に近づける必要があることがわかる。

- [0074] 以上のように、本実施の形態1に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、ノズル外壁部を導電性材料でコートして電極部20を形成することにより、流体流路内部に電極部を形成する場合と比較して、電極部20とノズル孔40との距離をできるだけ短くするようなヘッド構成を実現することが容易となる。つまり、電極部20の位置をノズル孔40に近づけることにより、吐出可能な駆動周波数を向上できると共に、吐出可能な材料の選択の幅を高抵抗側へ広げることができる。

- [0075] 尚、上記説明では、流体流路30内の吐出流体は、吐出が行われていない状態でも電極部20と接触しており、所望の駆動電圧を電極部20に印加することで吐出流体

に電荷供給が行われるとしている。しかしながら、実際には、吐出流体がノズル孔40よりも流体流路30内側に引き込まれ、吐出流体と電極部20とが接触していない状態となっていることもありうる。

[0076] このような場合、電極部20に駆動電圧を印加しても吐出流体に対する電荷供給は直ぐには行われないが、電極部20に駆動電圧を印加することで流体流路30内の吐出流体はエレクトロウェットिंग効果によりノズル孔40から外部に引き出されて電極部20と接触するため、吐出流体の吐出は可能となる。ここで、エレクトロウェットिंग効果とは、吐出流体に電界が作用することで、該吐出流体の濡れ性が向上するといった効果である。すなわち、エレクトロウェットिंग効果により吐出流体の濡れ性が向上すると、該吐出流体はノズル部10の無い壁面との接触面積を増加させるように移動し、ノズル孔40が沁み出す動作を示す。

[0077] また、本実施の形態では、先の尖ったノズル形状に関して述べたが、平らな面上にノズル孔が設けられた構成であっても良い。

[0078] また、図1の構成では、流体吐出ヘッドのノズル先端部において、電極部20がノズル孔40の内壁の少なくとも一部を形成しているおり、吐出が行われていない状態であっても、該電極部20がノズル内の吐出流体と接触している状態となっている。

[0079] しかしながら、本発明はこれに限定されるものではなく、図8に示すように、電極部20がノズル孔40の内壁を形成していない構成であっても良い。この場合、吐出が行われていない状態(電極部20に駆動電圧を印加していない状態)では、電極部20がノズル内の吐出流体と接触しないが、電極部20に駆動電圧を印加することで流体流路30内の吐出流体がエレクトロウェットिंग効果によりノズル孔40から外部に染み出して電極部20と接触する(図8は、この状態を示している)。

[0080] 上記図8の構成では、電極部20がノズル孔40の内壁を形成しないため、電極部20の形成時に該電極部20を形成する材料によってノズル孔40が塞がれることがなく、電極部20の形成が容易になるといった利点がある。但し、図8の構成では、ノズル先端を先の尖った形状として、ノズル孔40との電極部20とが十分近接している必要はある。

[0081] [実施の形態2]

実施の形態2に係る静電吸引型流体吐出装置における流体吐出ヘッドのノズル構成を図9に示す。本実施の形態2については、上記実施の形態1と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。実施の形態1においては、ノズル部10を形成する材料は絶縁材料であったが、本実施の形態2ではノズル部を導電性材料としている。

[0082] すなわち、図9に示すノズル構成ではノズル部10'が電極部を兼用しており、該ノズル部10'に電源50が接続されている。ノズル部10'を形成する導電性材料としては、アルミニウム、ニッケル、銅、シリコン等の金属材料の他に、導電性高分子材料も使用可能である。また、ノズル部10'の先端にノズル孔40を形成するための微小な穴開け加工方法としては、RIE(Reactive Ion Etching)やレーザ加工、光アシスト電解エッチング法等が適用可能である。

[0083] 次に、上記ノズル構成を有する流体吐出ヘッドの流体吐出メカニズムを説明する。上記ノズル構成では、電源50により所望の電圧をノズル部10'全体に印加することにより、初期吐出に寄与するノズル孔40近傍の吐出流体に対して電荷供給だけでなく、ノズル孔40から少し離れた箇所が存在する流体流路30内部の吐出流体に対しても同時に電荷供給することができる。このため、吐出応答性が向上し、且つ連続吐出時の電荷の追従性、つまり、連続吐出安定性が向上する。

[0084] 以上のように、本実施の形態2に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、ノズル先端部全体を導電性材料で形成することで、吐出応答性向上による駆動周波数の向上、吐出材料の選択性の向上を可能にすると共に、連続吐出安定性も向上させることができる。

[0085] [実施の形態3]

実施の形態3に係る静電吸引型流体吐出装置における概略構成を図10に示す。本実施の形態3については、上記実施の形態1および2と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0086] 本実施の形態3に係る構成の流体吐出ヘッドは、ノズル部10の吐出方向上流側に、ジョイント部60を介して圧力制御装置70に連結した圧力制御機構を備えている。

[0087] 次に、上記流体吐出ヘッドの流体吐出メカニズムを説明する。流体流路30内の吐

出流体には、流体吐出時でなくても圧力制御装置70により外圧が与えられており、この外圧により、吐出流体はノズル孔40の外部に導出された状態となっている。圧力制御装置70によるこの導出圧力は、ノズル孔径や吐出流体の粘度等により異なるが、例えばノズル孔40の径が $\phi 1 \mu\text{m}$ の場合、0.3〜0.6MPaの範囲内の圧力で吐出流体をノズル孔40外部に導出することが可能である。

[0088] 上記導出圧力により、微小なノズル孔40を通過した吐出流体は電極部20と接触した状態となるため、流体吐出の動作時において、電極部20に電圧を印加すると同時に、該電極部20より電荷供給を受けることができ、ノズル先端部の電界力を受けて吐出が行われる。

[0089] 以上のように、本実施の形態3に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、吐出部上流側から吐出流体に対して圧力を付与することで、該吐出流体をノズル孔へ導出し電極部と接触した状態に保つことができ、安定した吐出を実現することができる。

[0090] 尚、図10は、上記圧力制御装置70を、図1に示すノズル構成と組み合わせた場合を例示しているが、図8に示すノズル構成と組み合わせるものであっても良い。

[0091] 〔実施の形態4〕

実施の形態4に係る静電吸引型流体吐出装置における流体突出ヘッドの概略構成を図11に示す。

[0092] 本実施の形態4では、静電吸引型流体吐出装置の流体突出ヘッドは、流体流路30内部に駆動電極部80を備えた構成となっており、ノズル部10の先端部において内部流路30のテーパ角 α を適切に設定することで、吐出限界周波数の向上及び、吐出材料の高抵抗側への選択性向上を図っている。

[0093] これまでの説明通り、静電吸引型流体吐出装置の場合、その吐出特性は駆動電極20とノズル孔40との間の流路30内に存在する吐出流体の電気抵抗に依存する。

[0094] ところで、流体流路30内部の電気抵抗を決定するパラメータとして、該流体流路30の流路長と断面積、及び吐出流体の導電率が挙げられるが、流路長と断面積とをテーパ角 θ という1つのパラメータとして考えた場合、テーパ角 θ と流体流路30内部の電気抵抗(抵抗比率)との関係は図12のようになる。図12における抵抗比率は、テーパ角 θ を 0° とした場合のテーパ部での流体流路30内部の電気抵抗値に対する比

率を示している。

[0095] 図12では、テーパ長 L とノズル径 d と比である L/d をパラメータとして、 $L/d=1, 5, 10, 100$ の場合のそれぞれについて、テーパ角と抵抗比率との関係を示している。テーパ長 L は、図11に示すように、ノズル部10におけるテーパ形成部の流体吐出方向に沿った長さを示す。

[0096] 実際、ノズル径が 25μ 以下の超微細ノズルを形成する場合、上記 L/d の関係は5以上100以内であることが通常である。また、テーパ長 L はノズル径 d の大きさに関わらず、設計上の範囲がある程度決まっているため、上記 L/d の値は、ノズル径が小さくなるほど大きくなり、ノズル径が大きくなるほど小さくなる傾向がある。

[0097] 図12より、 L/d がどの値であっても、テーパ角 θ が大きくなるに従って、抵抗比率が小さくなっていることが分かる。そして、テーパ角 θ を 21° 以上にすることで、 L/d が5以上の場合に抵抗比率20%以下にすることができる。

[0098] 以上のように、本実施の形態4に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、ノズル部10の内壁テーパ角 θ を 21° 以上にすることにより、電極部80とノズル孔40との間の電気抵抗を大幅に抑制することができ、吐出限界周波数の向上、及び吐出材料の高抵抗側への選択性向上を可能とする。

[0099] また、抵抗比率が30%となる場合の、テーパ長—ノズル径比 L/d とテーパ角 θ との関係を図13に示す。図13より、抵抗比率が30%となる条件では、

$$\theta = 58 / (L/d)$$

の関係が成立していることが分かる。これより、30%以下の抵抗比率を得るためには、

$$\theta > 58 \times d/L$$

の関係を満たせばよいことが分かる。

[0100] [実施の形態5]

実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置における流体突出ヘッドの概略構成を図14に示す。本実施の形態5については、上記実施の形態1ないし4と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0101] 本実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置では、ノズル部10内の流体流路3

0に棒状電極である電極部90を挿入し、さらに、電極部90がテーパ内壁面に3点以上接するように配置されている。この構成では、電極部90が可能な限りノズル孔40側に接近させられることにより、電極部90とノズル孔40との間の吐出流体流路の電気抵抗を小さくすることができ、吐出限界周波数の向上、及び吐出流体の高抵抗側への選択性向上を可能にする。

[0102] 尚、このように電極部90が可能な限りノズル孔40に接近して配置される場合、電極部90の断面形状がテーパ内壁の断面形状と完全に一致しないことが必要である。

産業上の利用の可能性

[0103] インクジェットプリンタ等に適用できる。

請求の範囲

- [1] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、
上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル外壁部分を導電性材料でコーティングすることによって形成されている静電吸引型流体吐出装置。
- [2] 上記電極部は、ノズル内壁の少なくとも一部を形成している請求項1に記載の静電吸引型流体吐出装置。
- [3] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、
ノズル先端部が導電性材料で形成されており、導電性材料で形成された上記ノズル先端部が吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部を兼用している静電吸引型流体吐出装置。
- [4] ノズル内部に圧力を付与する圧力付与手段を備えている請求項1ないし3の何れかに記載の静電吸引型流体吐出装置。
- [5] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、
上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル内部に配置されており、
ノズル先端部の内壁面がテーパ部を有しており、そのテーパ角を θ 、テーパ長を L 、ノズル径を d とし、かつ、 $L/d > 5$ となる場合、テーパ角 θ が 21° 以上に設定されている静電吸引型流体吐出装置。

- [6] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記吐出流体に電荷を与え帯電させるための駆動電圧を印加する電極部が、ノズル内部に配置されており、

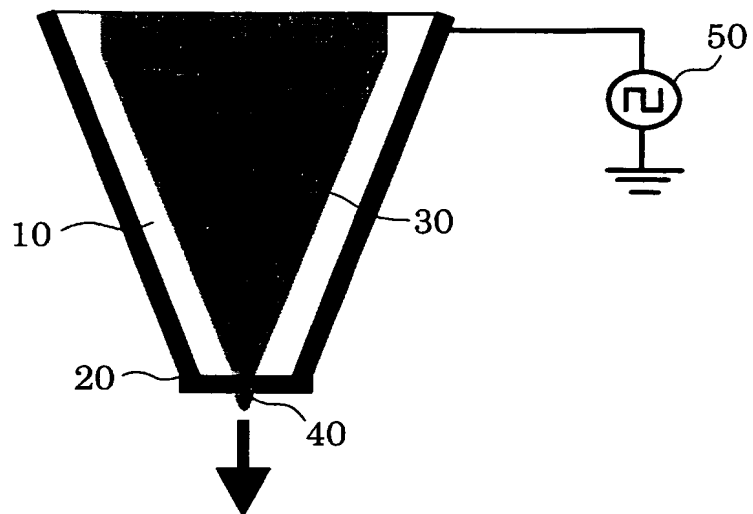
ノズル先端部の内壁面がテーパ部を有しており、そのテーパ角を θ 、テーパ長を L 、ノズル径を d とし、かつ、 $L/d < 100$ となる場合、テーパ角 θ が、

$$\theta > 58 \times d/L$$

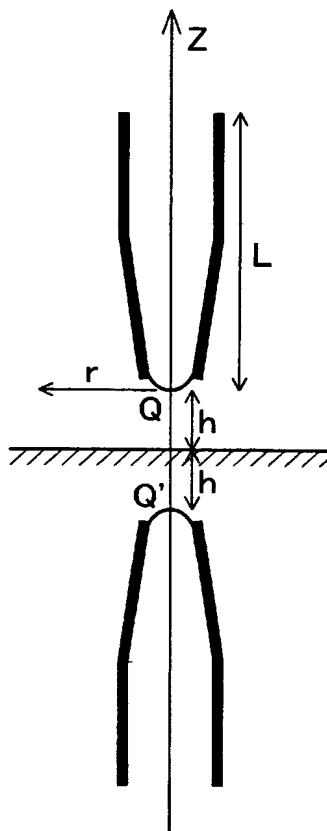
となるように設定されている静電吸引型流体吐出装置。

- [7] 上記電極部はノズル内部に挿入配置された棒状電極であり、その先端がテーパ部の内壁面と接する位置まで挿入されている請求項5または6に記載の静電吸引型流体吐出装置。

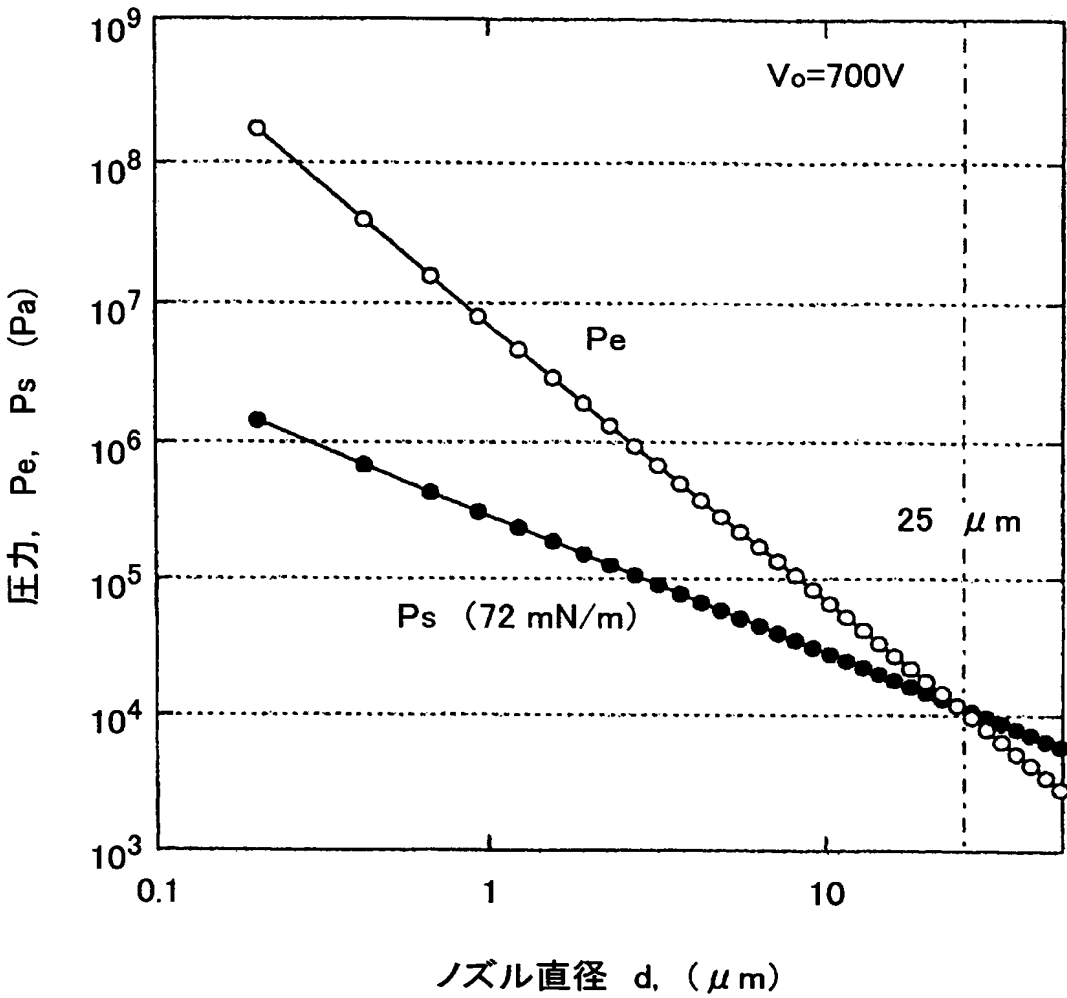
[図1]



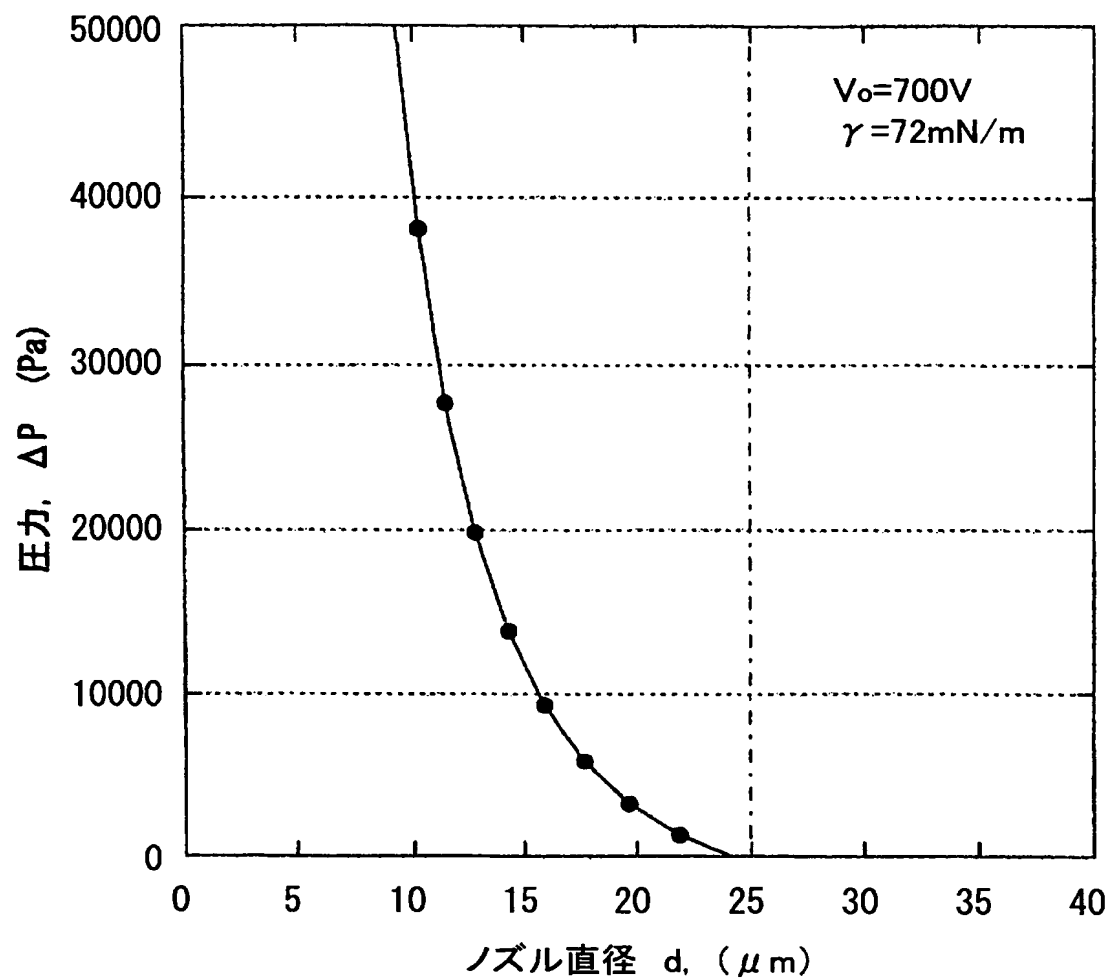
[図2]



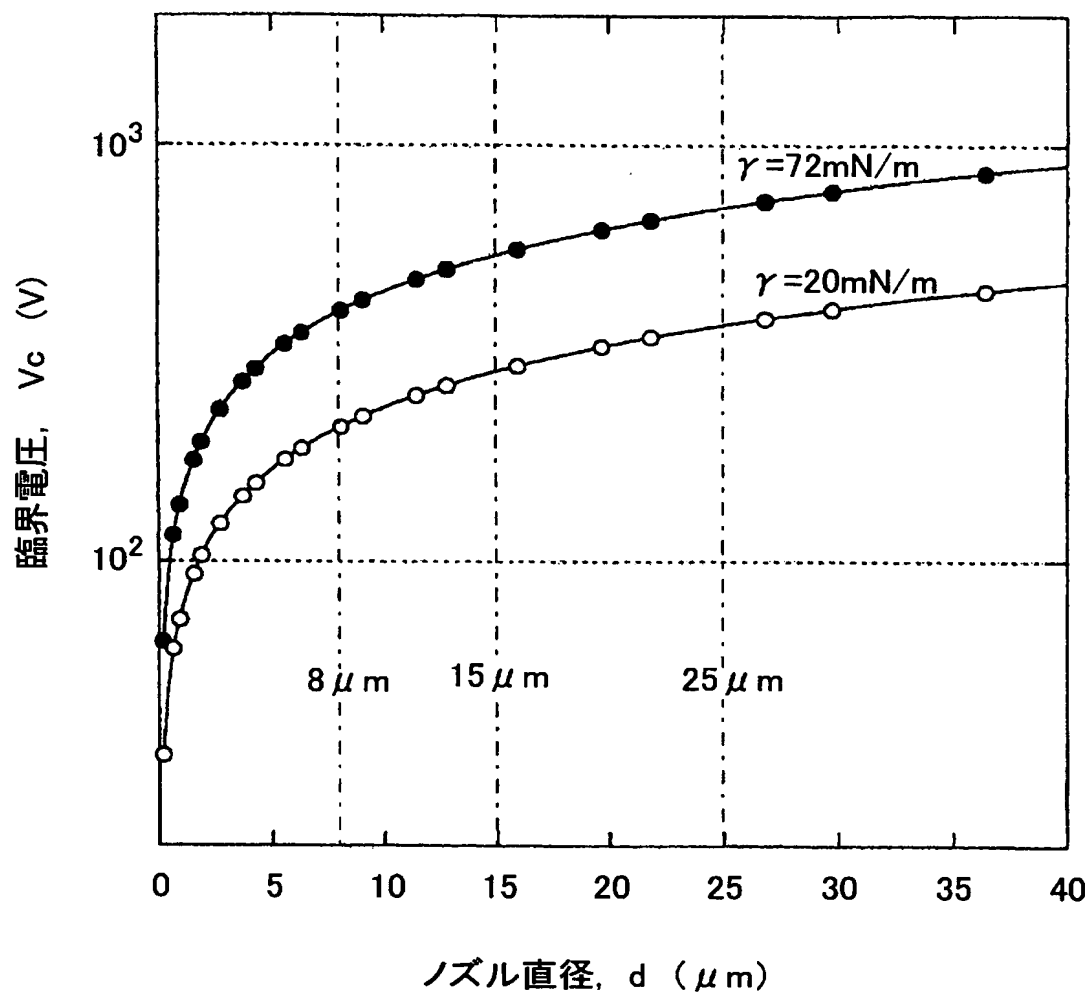
[図3]



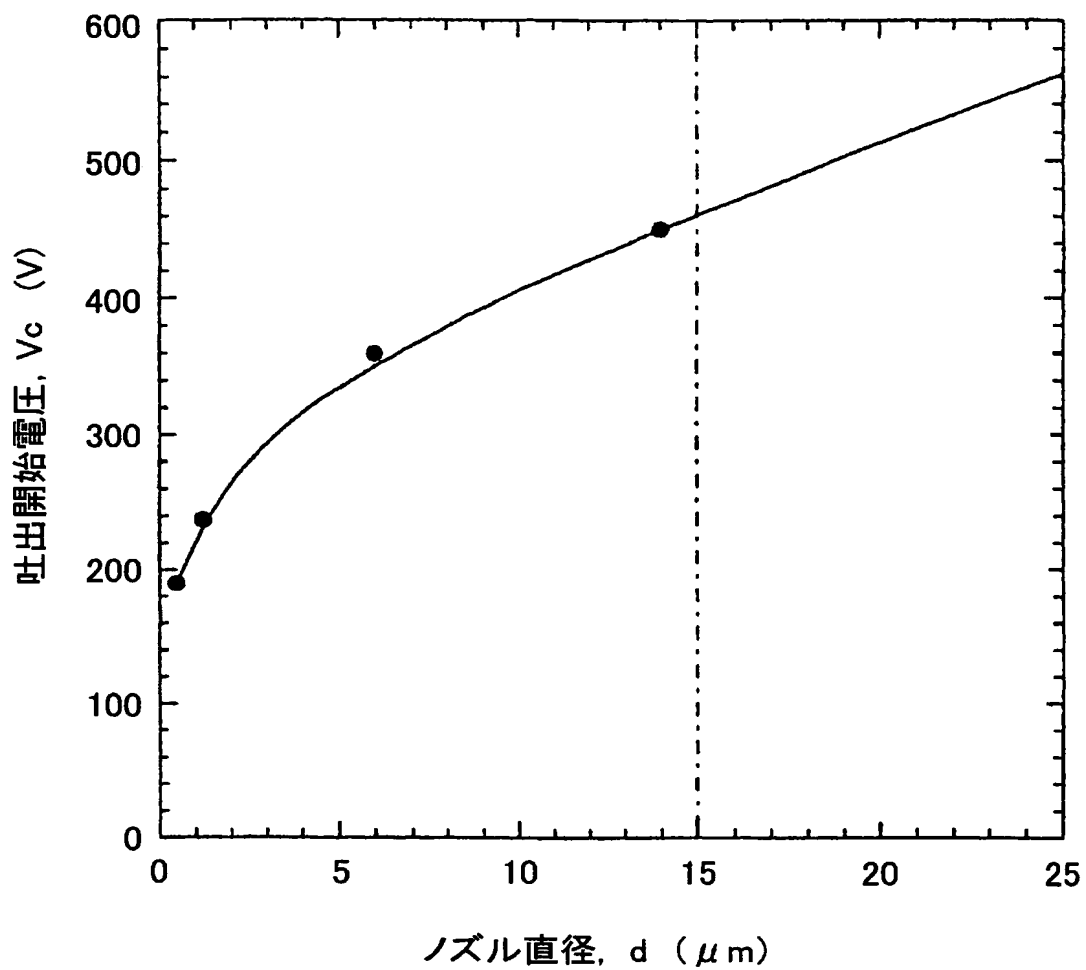
[図4]



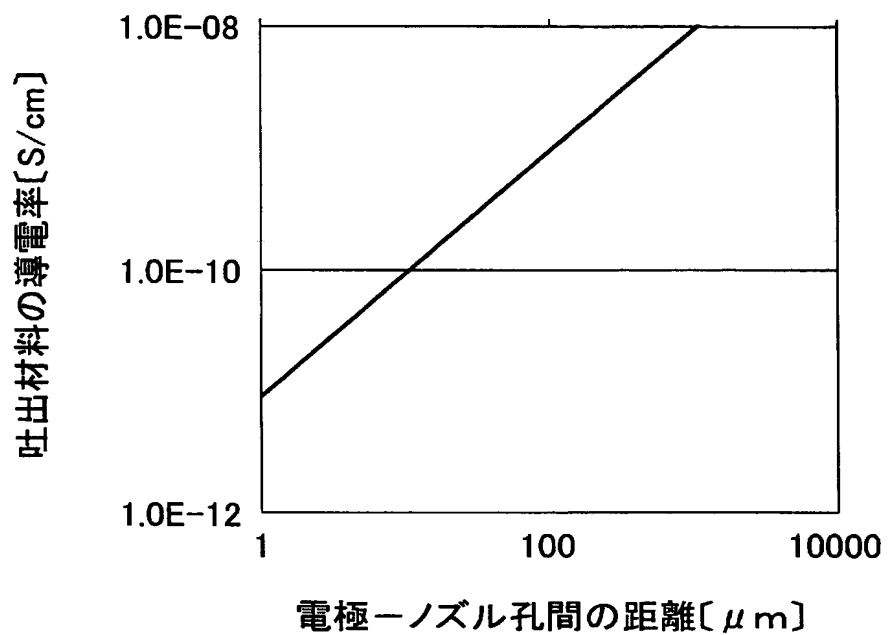
[図5]



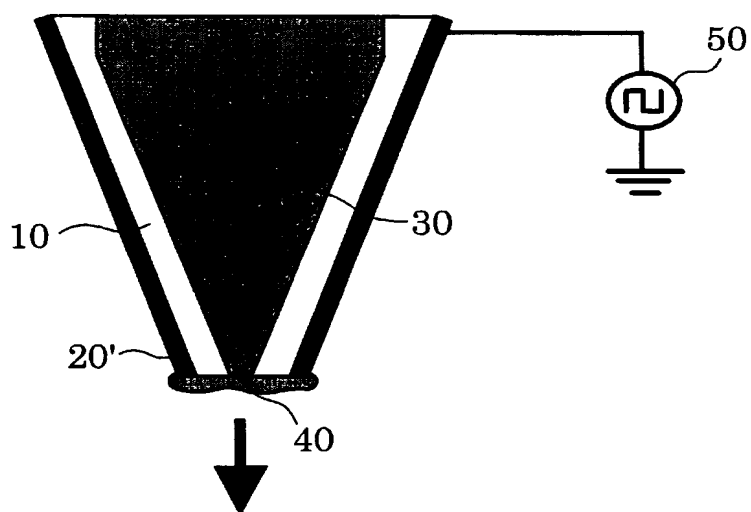
[図6]



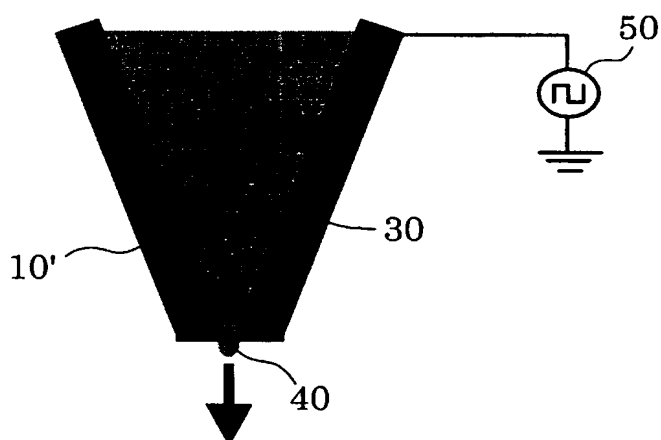
[図7]



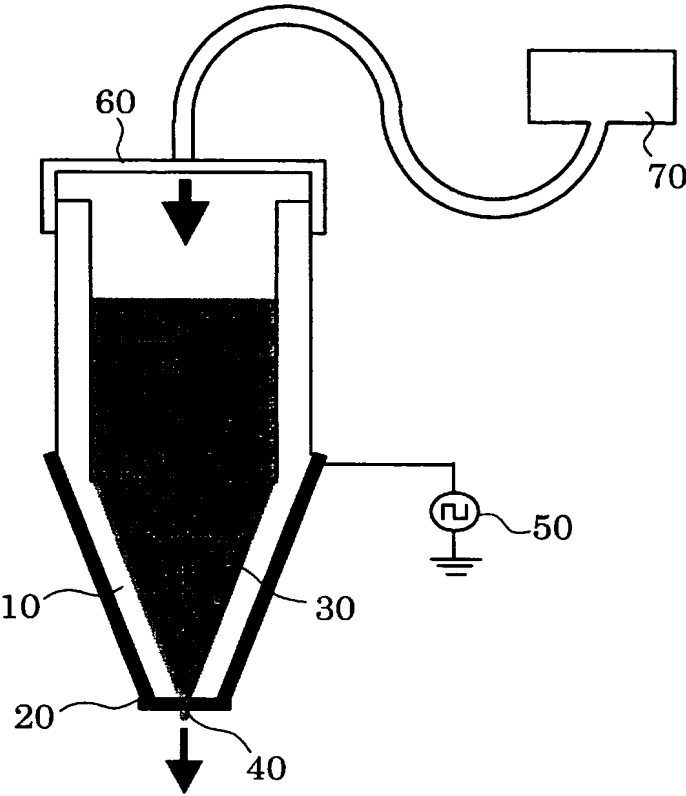
[図8]



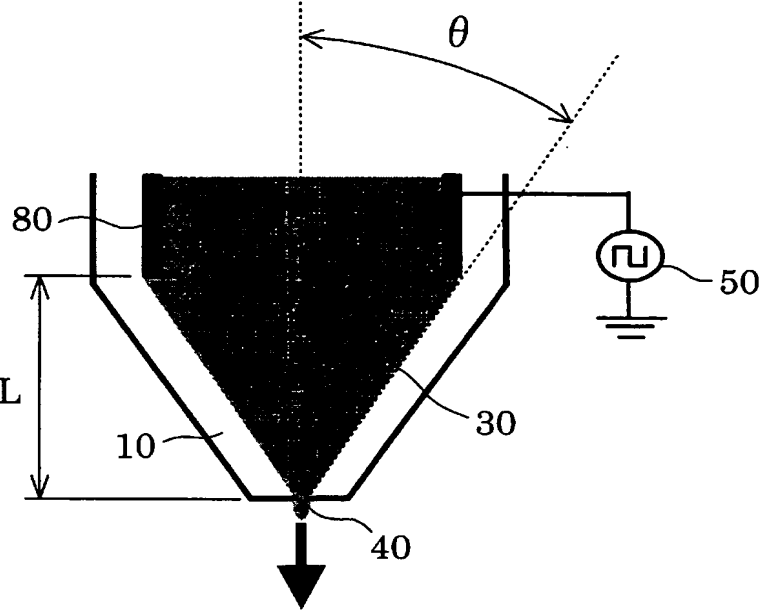
[図9]



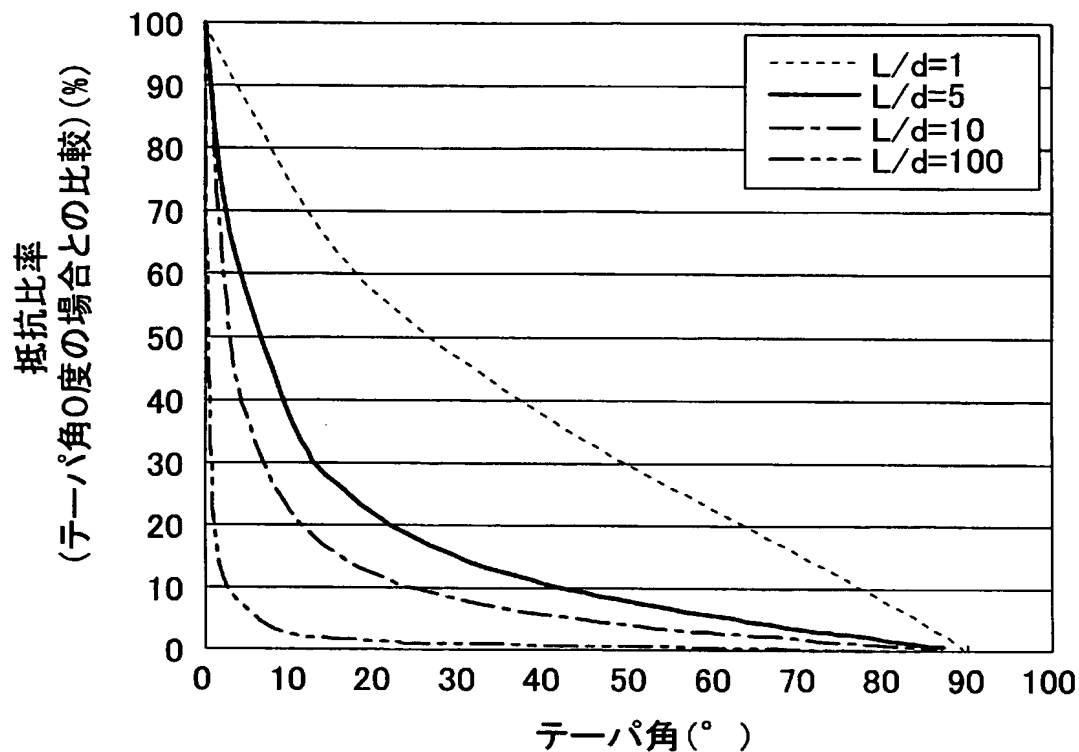
[図10]



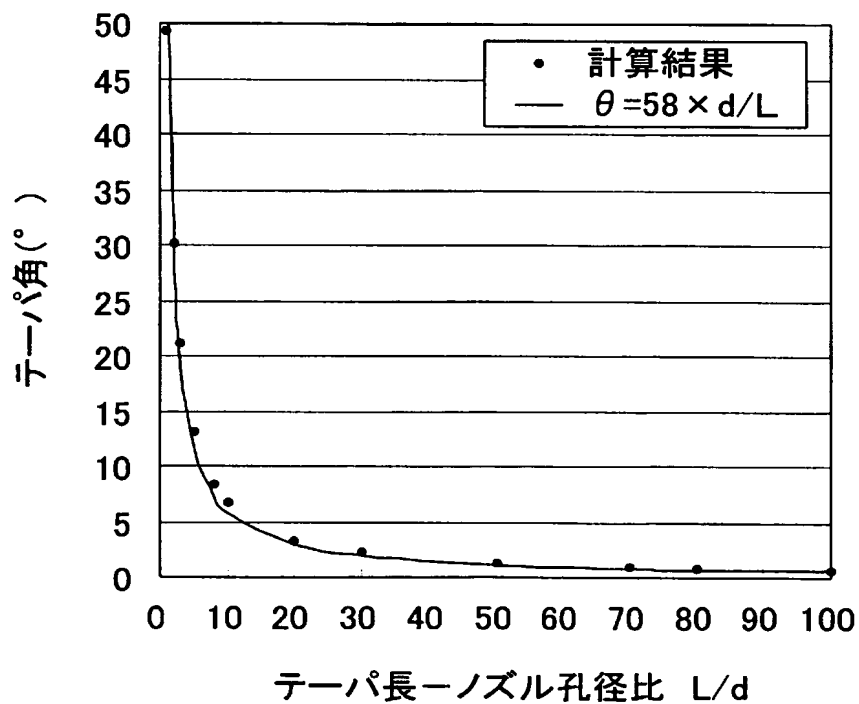
[図11]



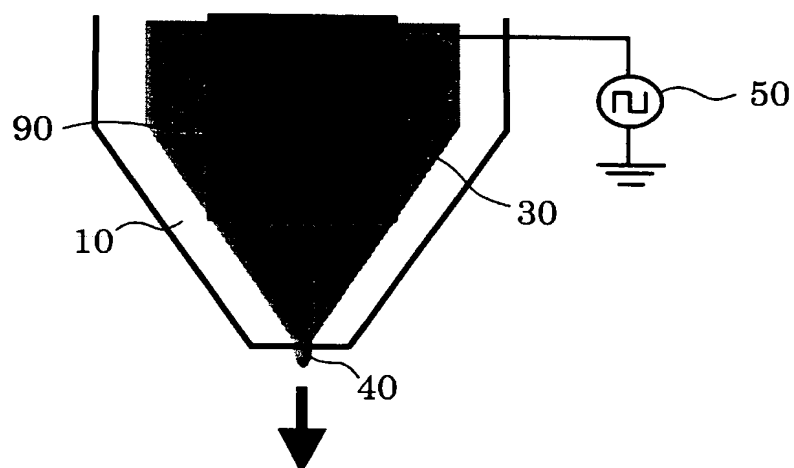
[図12]



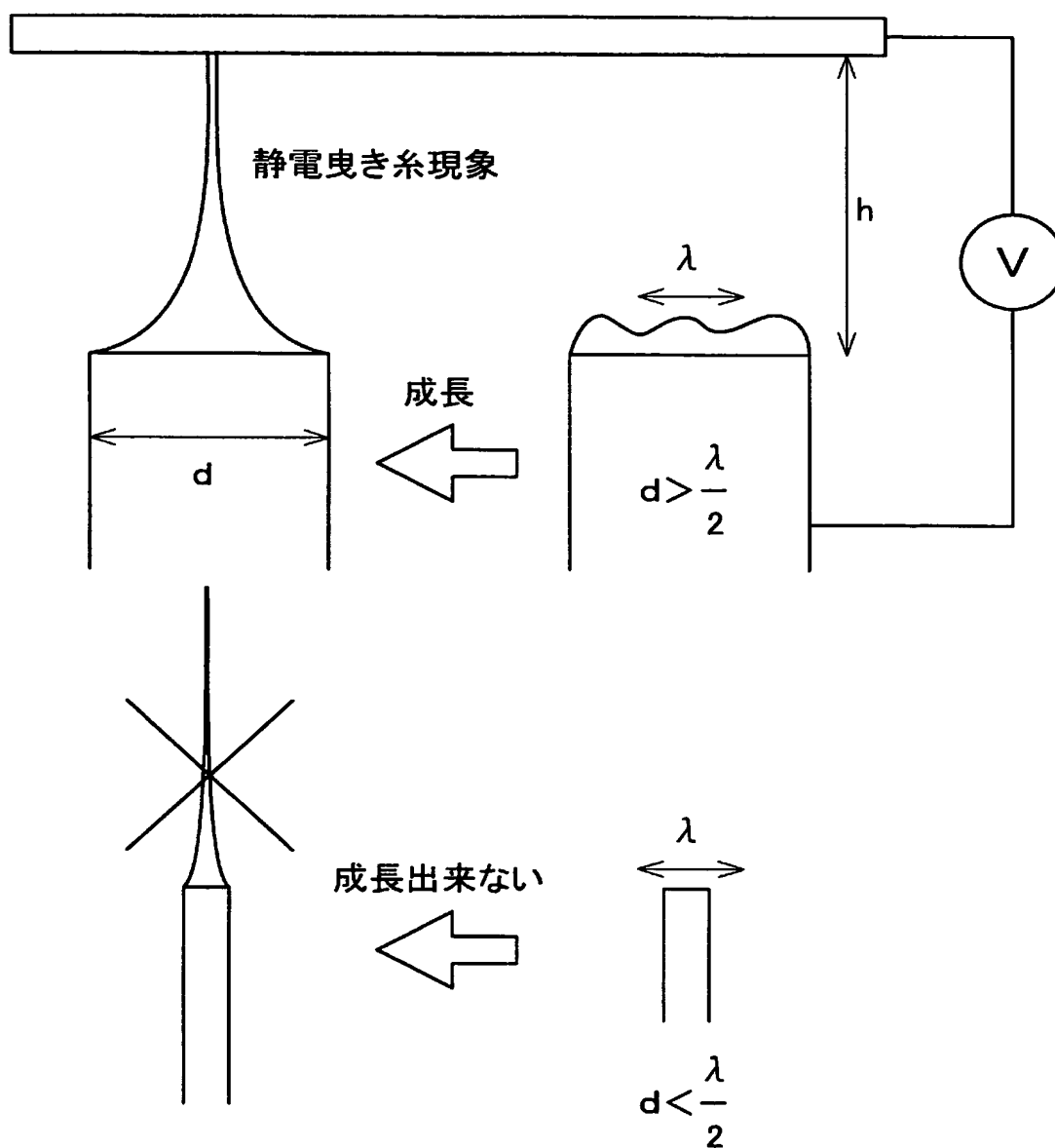
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011168

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B41J2/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B41J2/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 1-200965 A (Ricoh Co., Ltd.), 14 August, 1989 (14.08.89), (Family: none)	1, 2, 4 5-7
Y A	JP 2002-172786 A (Ricoh Co., Ltd.), 18 June, 2002 (18.06.02), (Family: none)	1-4 5-7
Y A	JP 9-193400 A (Murata Machinery Ltd.), 29 July, 1997 (27.07.97), (Family: none)	3, 4 5-7
Y	JP 2001-130028 A (Hitachi, Ltd.), 15 May, 2001 (15.05.01), (Family: none)	4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 August, 2004 (19.08.04)

Date of mailing of the international search report
07 September, 2004 (07.09.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B41J 2/06

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B41J 2/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 1-200965 A (株式会社リコー)	1, 2, 4
A	14. 08. 1989, (ファミリーなし)	5-7
Y	JP 2002-172786 A (株式会社リコー)	1-4
A	18. 06. 2002, (ファミリーなし)	5-7
Y	JP 9-193400 A (村田機械株式会社)	3, 4
A	29. 07. 1997, (ファミリーなし)	5-7
Y	JP 2001-130028 A (株式会社日立製作所)	4
	15. 05. 2001, (ファミリーなし)	

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19. 08. 2004

国際調査報告の発送日

07. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
桐畑 幸廣

2P 9606

電話番号 03-3581-1101 内線 3259